

福井大学平成22年度重点研究「重点研究育成経費」 高出力遠赤外領域の材料・物性応用研究

研究代表者： 光藤 誠太郎（遠赤外領域開発研究センター・教授）

共同研究者： 藤井 裕（遠赤外領域開発研究センター・准教授）、
立松 芳典（遠赤外領域開発研究センター・准教授）

概 要	300 GHz の電磁波焼結されたジルコニアセラミックスの組織観察を行ない、空分布やマイクロピッカース強度の空間分布を明らかにし、また電磁波の周波数と浸透長より組織の空間分布がほぼ説明できることを示した。また、装置がパルス照射に対応できるように改良を行った。電磁波の照射時間(パルス長)と緻密化の進行には数十 ms までは正の相関があることを見出した。さらに、パルス長により緻密化が最大となる特性時間があることをはじめて見出した。分光用高出力光源として開発した Gyrotron FU VII の動作試験を行い有効な発振を確認した。直線偏光のガウシャンビームへの変換アンテナの開発を行いおおむね良好なガウスビームが得られた。また分光系に用いるマーチンパブレット干渉計の開発を行い、励起波を+30 dB 減衰することに成功した。
関連キーワード	高出力遠赤外、スピンエコー、電磁プロセッシング、ミリ波、サブミリ波

研究の背景および目的

本研究は、遠赤外領域開発研究センターで研究開発を行っている高周波ジャイロトロン発振器を有効に活用し、これまでに成しえなかった、遠赤外領域の材料開発法や分光計測技術を実現し、未踏の周波数領域と呼ばれた遠赤外領域のシーズを発掘しニーズにこたえていくことを目的としている。

世界的にみて、テラヘルツ帯で数十 W から数 kW の高出力電磁波を発生できるのは福井大学のジャイロトロンのみであり、本学の特徴的な研究のひとつである。この特色ある光源を生かし応用に発展させていくに当たり、以下の二点に着目し研究を進める。

- 1.世界に先駆けて開発に成功した 300 GHz 材料処理装置の利点を生かした材料開発研究。
- 2.高出力特性を活かした、スピン制御技術開発と電子スピンエコー分光装置の開発と物性計測

1.遠赤外領域の材料開発

我々のグループはこの領域において、世界的にも最も精力的に研究を行っている。現在の産業化は主に 2.45 GHz のマイクロ波領域で進んできたが、次世代技術として、より高周波のミリ波(30

GHz)・サブミリ波(300 GHz)の電磁波による材料創成が期待されている。我々の持つ高出力ミリ波・サブミリ波技術を用い、電池材料、高エネルギーギャップの半導体、原子力材料、金属粉体成形の研究を進めており、研究の進展により、これらの産業の核となる新技術の創成が期待される。

2.スピン制御による分光技術開発研究

これまでの一般的な電子スピン共鳴分光法(ESR)は、 μW 程度の弱い電磁波により摂動として物性を計測してきた。一方核磁気共鳴法(NMR)は用いる周波数が MHz 帯でありエレクトロニクスによる高出力化が容易であったため、スピンを動的に制御して、緩和時間等の測定を可能とし、水の ^1H 緩和時間の違いに着目した MRI や分析化学に威力を発揮し、多くのノーベル賞の受賞につながった。高出力遠赤外光の出現により ESR に於いても NMR 同様のスピン制御を可能にすることで電子スピンのダイナミクスを調べることが可能となる。ここで得られる情報と技術は量子コンピューターやスピントロニクスなどの次世代技術に不可欠な物である。

研究の内容および成果

1.遠赤外領域の材料開発

300 GHz の高出力電磁波を用い焼結温度を変えてジルコニアセラミックスの焼結を行った。焼結温度の異なる試料に対して、それぞれ光学顕微鏡により組織観察を行ない、空孔の試料内部の分布について焼結温度依存性を調べた。また、マイクロピッカース強度の空間分布の測定を行った。中

間的な焼結温度に於いて、空孔の消滅が表面ではなく、試料表面から 400 ミクロンほど内部から始まり、やがて焼結温度の上昇と共に均一に焼結されていく様子が明らかになった。さらにマイクロピッカース強度による硬さ分布の焼結温度依存性も、空孔の消滅の様子とほぼ同じ形で進行することがわかった。これらの 300 GHz 電磁波加熱によ

る焼結の特異な空間分布を説明するために、電磁波の周波数と浸透長を見積もり、その吸収の様子を計算したところ、それにより組織の空間分布がほぼ説明できることを示した。

次に、熱的な昇温プロセスは同じであるが、照射する電磁波の時間や出力を変化することで、電磁波加熱の特徴を計測することが出来るように、装置をパルス照射に対応できるように改良を行った。図 1 に示すように、電磁波の照射時間(パルス長)と緻密化の進行には数十 ms までは正の相関があることを見出した。また、パルス長をさらに長くしていくと緻密化は逆に減少し、ある緻密化が最大となる特性時間があることをはじめて見出した。

2. 高出力特性を活かした、スピン制御技術開発

分光用高出力光源として開発した Gyrotron FU VII の動作試験を行った。その結果、図 2 に示す発振を確認した。これらの発振のうち 154 GHz 92 W (TE₀₂ モード), 188 GHz 69 W (TE₁₃ モード)の有効な発振を確認し、さらに TE₀₂ モードを最初の開発に用いるターゲット周波数とした。すでに開発を行いコールドテストに於いて、ESR エコー測定に必要な π および $\pi/2$ パルスと呼ばれる数 10 nsec の超短パルス化に成功しているシステムが有効に機能するために、直線偏向ビームが必要である。そこで、TE₀₂ モードの発振について、直線偏光のガウシアンビームへの変換する準光学アンテナの開発を行った。その結果おおむね良好なガウシアンビームが得られた。

計測するエコー信号は励起に用いる π , $\pi/2$ (数百 W)に比べ 1/1000 程度の信号強度しかないのが一般的である。このエコー信号の計測には高速応答可能で高感度のショットキーバリア型の受信器を用いるほかない。しかしこの受信器は高強度の電磁波により壊れやすい構造をしており、計測のためには同じ光路に乗ってくる励起パルスとエコー信号を分離し、エコー信号のみを受信し、励

起パルスは減衰除去する必要がある。ESR 分光系に於いてこの分離除去を実現するためにマーチンパレット干渉計の開発を行った。ガン発振器を光源とするコールドテストを行い開発した干渉計により励起パルスが 30 dB(1/1000)以上の減衰することを確認した。

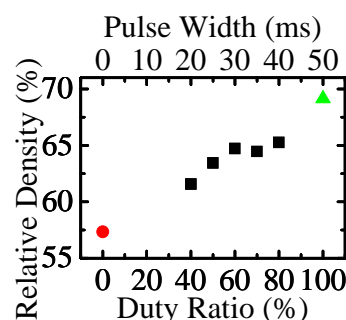


図 1.パルス長と緻密化の関係、▲と●はそれぞれ連続照射と電気炉加熱に対応する

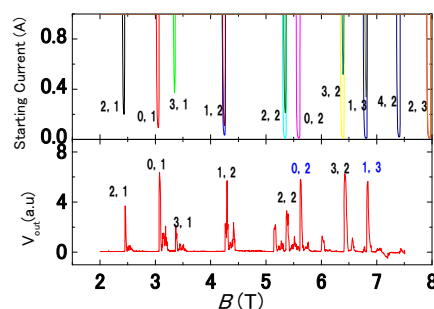


図 2.分光用コンパクトジャイロトン発振モード

本助成による主な発表論文等、特記事項および競争的資金・研究助成への申請・獲得状況

「主な発表論文等」

- H. Aripin, I.N. Sudiana, S. Tani, K. Sako, S. Mitsudo, T. Saito and T. Idehara, Int. J. IRMMW-THz (投稿中)
- Song, M. Jeong, B. Kang, S. Lee, T. Ueno, A. Matsubara, T. Mizusaki, Y. Fujii, S. Mitsudo, M. Chiba, J. Phys.: Condens. Matter 22 (2010) 206001 (9 pages)
- Mamoru Kitaura, Shinji Tani, Seitaro Mitsudo, Kazutoshi Fukui, J. Vac. Sci. Technol. B 28 (2010) C2C20-C2C25

「特記事項」

日本物理学会 2010 年秋季大会, 領域 2, 領域 3 合同シンポジウム講演「マイクロ波テラヘルツ波による加熱の物理機構」Physical Mechanism of

the Heating by Electromagnetic Waves at GHz-THz 大電力テラヘルツ波・ミリ波の気体・固体プラズマ中での作用

電子スピンサイエンス学会年会(SEST2010)招待講演「高出力遠赤外光によるスピンコントロール」

「競争的資金・研究助成への申請・獲得状況」

科研費・特定領域・公募研究・H21,22・高出力サブミリ波を用いた材料プロセッシングの研究・代表・11,400 千円

科研費・新学術領域研究・計画研究・H23-28 (研究領域提案型)「先端スピン計測技術が拓く生体機能科学」・分担・197,700 千円 (申請中)

他 3 件